

структурах описывается как рассеяние плоских волн бесконечной длительности по времени [1]. Процессы же рассеяния аттосекундных импульсов электромагнитного поля на такого рода структурах до настоящего времени мало исследованы. В работах [2-4] развита теория переизлучения аттосекундных импульсов электромагнитного поля различными многоатомными системами, составленными из изолированных сложных атомов, с учётом их тепловых колебаний в работе [5], а учет наличия дефектов наноструктур приведен в [6]. Эти работы использовали приближение внезапных возмущений для описания эволюции электрона в поле аттосекундного импульса. Есть и другие, альтернативные, способы описания рассеяния [7-9].

В настоящей работе рассмотрены интерференционные спектры при рассеянии аттосекундных импульсов электромагнитного поля листами графена, в том числе с учётом дефектов. Получены общие выражения для расчетов спектральных распределений. Показано, что с помощью интерференционных спектров можно определить различные пространственные характеристики графена, в том числе и дефекты.

1. John M. Cowley // Diffraction Physics. North-Holland, Amsterdam. 1975.
2. Матвеев В.И., Матрасулов Д.У., Письма в ЖЭТФ. Т. 96, . С. 700 (2012)
3. Макаров Д.Н., Матвеев В.И., ЖЭТФ. Т. 144, С. 905 (2013)
4. Макаров Д.Н., Матвеев В.И., Оптика и спектроскопия. Т. 116, С. 179 (2014)
5. Макаров Д.Н., Матвеев В.И., Письма в ЖЭТФ. Т. 101, С. 677 (2015)
6. Матвеев В.И., Макаров Д.Н., Письма в ЖЭТФ. Т.103, С. 314 (2016)
7. V. A. Astapenko, Phys. Lett. A, V. 374, P. 1585 (2010).
8. V. A. Astapenko, J. Exp. Theor. Phys. V. 112, P. 193 (2011).
9. F.B. Rosmej, V.A. Astapenko, V.S. Lisitsa, J Phys B, At Mol Opt Phys, V.50, 235601 (2017)

ELASTIC AND PIEZOELECTRIC PROPERTIES OF DIPHENYLALANINE MICROTUBES FILLED BY ETHANOL MOLECULES

Maslyanaya K.V.^{1*}, Yuzhakov V.V.¹, Nuraeva A.S.¹, Zelenovskiy P.S.¹,
Chezganov D.S.¹, Shur V.Ya.¹, Kholkin A.L.^{1,2}

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Physics Department & CICECO – Aveiro Institute of Materials, University of Aveiro,
3810-193, Aveiro, Portugal

*E-mail: christina.maslyanaya@gmail.com

Self-assembled micro- and nanotubes of diphenylalanine (C₁₈H₂₀N₂O₃, FF) represent advanced functional biomaterial for developing new medical equipment [1], such as laboratory-on-chip, due to its outstanding piezoelectric [2] and mechanical [3] properties. After the self-assembly in aqueous solution water molecules remain inside the nanochannels and stabilize its structure [4]. The possibility of water substitution in

nanochannels by other molecules and its effect on physical properties of FF microtubes still was not studied.

In this work we investigated the effect of the ethanol filling of nanochannels on piezoelectric and elastic properties of FF microtubes. The studied microtubes were grown from a solution of FF-monomer (Bachem AG, Switzerland) in mixture of water with 1,1,1,3,3,3-Hexafluoro-2-propanol and then were dried at 80°C for 8 hours in a muffle furnace to empty the nanochannels. Filling of nanochannels by ethanol molecules was carried out by keeping the annealed microtubes in ethanol vapor for two weeks. Young's modulus was measured locally using NanoScan-4D scanning nano-hardness tester (FSBI TISNCM, Russia). The piezoelectric coefficient was measured using a scanning probe microscope MFP-3D (Asylum, USA).

FF microtubules with empty nanochannels possess a unimodal distribution of Young's modulus with characteristic value of 5 GPa and piezoelectric coefficient $d_{15}=20$ pm/V. Restoring the microtubes in ethanol vapor lead to increasing of Young's modulus values to bimodal distribution with characteristic values 10 GPa and 25 GPa that are close to values of initial (as grown) tubes. Piezoelectric coefficient d_{15} of ethanol filled microtubes is also close to that of as grown tubes. Thus, ethanol molecules can enter the nanochannels in FF microtubes and allow recovering their elastic and piezoelectric properties.

The research was carried out using the equipment of Ural Center for Shared Use "Modern Nanotechnologies", Ural Federal University, under financial support by Russian Science Foundation (grant № 18-72-00052).

1. Kholkin A., Amdursky N. et al., ACS Nano, 4, 610 (2010).
2. Vasilev S., Zelenovskiy P. et al., J. Phys. Chem. Solids, 93, 68 (2016).
3. Azuri I., Adler-Abramovich L. et al., J. Am. Chem. Soc., 136, 963 (2014).
4. Andrade-Filho T., Martins T. et al., Theor. Chem. Acc., 135, 185 (2016).